



PRODUCCIÓN DE VEGETALES EMPLEANDO LA TÉCNICA HIDROPÓNICA DE FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT)

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
Santiago de Cali, 2014

*Diana Marcela
Palacios Covaleta
Cod. 0840751*

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería agrícola



PRODUCCIÓN DE VEGETALES EMPLEANDO LA TÉCNICA HIDROPÓNICA DE
FLUJO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT)

Trabajo de grado para obtener el título de Ingeniera Agrícola

Diana Marcela Palacios Covaleta
Director: PhD. Jaime Ernesto Díaz Ortiz

Santiago de Cali, Colombia 2014

Nota de aceptación

PhD. Norberto Urrutia
Jurado Evaluador

Ing. Andrés Echeverri
Jurado Evaluador

Santiago de Cali, 28/ agosto /2014

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres

José cesar Palacios y Nelly Covaleta

Los cuales me han apoyado siempre, en los proyectos que he emprendido.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las personas que me ayudaron de alguna forma durante mi formación.

Agradezco a mi esposo Faiber Jimenez por su apoyo incondicional, y no dejarme derrotar por difícil que fueron algunas situaciones.

Agradezco a mis hermanas Lauren y Luisa por su apoyo y ayuda en todo momento.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN.....	11
1. INTRODUCCIÓN	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. OBJETIVOS	14
3.1 General	14
3.2 Específicos.....	14
4 MARCO CONTEXTUAL.....	15
4.1 Origen de la Hidroponía	15
5 MARCO TEÓRICO.....	19
5.1 Cultivos hidropónicos	19
5.2 Técnica Hidropónica de flujo laminar de nutrientes NFT	20
5.3 Relación Agua – Planta.....	23
5.4 Nutrición de las plantas	23
5.5 Conductividad Eléctrica (CE)	25
5.6 pH en cultivos hidropónicos	26
5.7 Necesidades hídricas de los cultivos.....	27
5.8 Diseño hidráulico.....	28
5.8.1 Tubería de alimentación.....	28
5.8.2 Coeficiente de Christiansen.	29

5.8.3	Estimación de la pérdida unitaria J.....	29
5.9	Especies aptas para el cultivo hidropónico.	30
5.9.1	Cultivo de lechuga.....	30
5.9.2	Cultivo Col o Repollo.....	31
6	MATERIALES Y MÉTODO.....	32
6.1	Ubicación del proyecto	32
6.2	Área del proyecto.	33
6.3	Materiales.....	34
6.4	Herramientas.....	34
6.5	Construcción del Invernadero.	35
6.6	Metodología empleada.....	36
6.6.1	Solución de nutrientes.....	37
6.6.2	Etapas de Semillero	39
6.6.3	Primer trasplante	40
6.6.4	Segundo Trasplante	42
6.7	Componentes del sistema NFT	44
6.8	Costos del proyecto.....	46
7	RESULTADOS	49
7.1	Procedimiento obtención de datos	50
7.1.1	Resultados del cultivo de repollo.....	50
7.1.2	Resultados del cultivo lechuga.....	53
7.2	Proyección	55
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56

8.1	Conclusiones.....	56
8.2	Recomendaciones.....	56
9	BIBLIOGRAFÍA	57
10	ANEXOS	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Diagrama de NFT (hidropónico, s.f.).....	21
Figura 2 Tabla pH y nutrientes (El huerto del cuco, s.f.)	26
Figura 3 Mapa de localización del proyecto.	32
Figura 4 Área del proyecto.....	33
Figura 5 Estructura del invernadero y materiales.....	35
Figura 6 Invernadero, materiales y construcción	36
Figura 7 Cantidades para Soluciones concentradas (FAO, La Huerta Hidropónica Popular , 2003)	37
Figura 8 Semillero.....	39
Figura 9 Pasos primer trasplante	40
Figura 10 Contenedor o Piscina.....	41
Figura 11 Raíces de las plantas en contenedores	42
Figura 12 Cultivo Hidropónico NFT	43
Figura 13 Sistema NFT del proyecto.	45
Figura 14 Plagas.....	50
Figura 15 Procedimiento de obtención de datos del repollo	51
Figura 16 Gráfica peso de la muestra del repollo	51
Figura 17 Gráfica de la longitud de la raíz del Repollo	52
Figura 18 Grafica del número de hojas del repollo	52
Figura 19 Procedimiento de obtención de datos del cultivo de lechuga	53
Figura 20 Peso de la muestra de Lechuga.	53

Figura 21 Longitud de la Raíz de la Lechuga	54
Figura 22 Número de Hojas del Cultivo de Lechuga.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Grupos de elementos (FAO, La Huerta Hidroponica Popular , 2003)	25
Tabla 2 Equivalencia para la solución nutritiva (FAO, La Huerta Hidroponica Popular , 2003).....	38
Tabla 3 Presupuesto proyecto	46
Tabla 4 Presupuesto proyecto (continuación).....	47
Tabla 5 Presupuesto proyecto (continuación).....	48
Tabla 6 Producción de Vegetales con Hidroponía	55
Tabla 7 Potencial Hídrico de cultivos (Pizarro, 1990)	60
Tabla 8 Coeficiente de Christiansen	61
Tabla 9 Resultados Repollo	62
Tabla 10 Resultados Lechuga	63

RESUMEN

Los cultivos hidropónicos brindan distintas ventajas: producir en lugares donde la agricultura tradicional no se puede desarrollar, generar productos de mejor calidad y con menor cantidad de patógenos, incrementar la producción por metro cuadrado, todo lo cual no solo redunda en ventajas para el consumidor final, sino también en mejoras en el nivel de vida de los productores originado por el incremento de la venta de sus productos.

Se conoce que la seguridad alimentaria y nutricional consiste en la disponibilidad suficiente y estable de alimentos, el acceso, el consumo oportuno y permanente de los mismos en cantidad, calidad e inocuidad por parte de todas las personas, bajo condiciones que permitan su adecuada utilización biológica, para llevar una vida saludable y activa¹.

En la búsqueda de alternativas de producción de alimentos que favorezcan los dos lados de la cadena, se desarrolló este proyecto fundamentado en la producción de dos cultivos de hortalizas de alta demanda en la zona, como son: la lechuga y el repollo, los cuales se desarrollaron utilizando la técnica de flujo laminar de nutrientes (NFT). Inicialmente, los cultivos fueron sembrados en semilleros y posteriormente fueron trasplantados al sistema.

Las plantas fueron regadas con la solución de nutrientes (recomendada por la FAO), sometidas a las mismas condiciones ambientales y manteniendo el pH y CE de la solución en los índices recomendados. La población del cultivo es de 780 plantas (lechuga y repollo) de las cuales se sacó una muestra representativa (15 plantas por cultivo) de manera aleatoria, con el fin de realizar el análisis de las variables seleccionadas para determinar la eficiencia del sistema. Estas fueron: peso de la planta, longitud de la raíz y número de hojas.

Los resultados mostraron que en el cultivo de lechuga se presentó un desarrollo desuniforme ya que algunas plantas llegaron a la florecencia y otras no. Después de 78 días las plantas, presentaron poco desarrollo y en general síntomas de debilidad. En el cultivo de repollo a los 78 días que se recogieron los datos aún no había formación de las cabezas, lo cual indica un bajo desarrollo de la planta.

¹ Definición de seguridad alimentaria en Colombia

1. INTRODUCCIÓN

La hidroponía ha obtenido elevados estándares comerciales, y algunos alimentos se cultivan de esta manera por diversas razones que tienen que ver con la falta de suelos adecuados (Fresh-Plaza, 2013). Esta propuesta surge como una alternativa para cultivar alimentos en sitios o espacios donde la agricultura tradicional no era posible. Gracias a los avances en esta técnica se pueden cultivar vegetales, flores, y otros alimentos.

Los cultivos hidropónicos presentan ventajas importantes tales como poseer menor cantidad de patógeno al ser regados con agua potable y sembrados en sustratos limpios y libres de contaminación; se pueden localizar en espacios pequeños, generalmente sus producciones son más elevadas, disminuyen el tiempo de cosecha, son fáciles de supervisar, los costos de las prácticas culturales se pueden reducir, en su instalación se pueden reciclar materiales y no requieren de grandes inversiones (FAO, 2003).

Combinar la hidroponía en condiciones de invernadero permite obtener rendimientos muy superiores a los que se obtienen en cultivos a cielo abierto. Es una forma sencilla, limpia y de bajo costo para producir vegetales de rápido crecimiento, de alta calidad sanitaria, estética y generalmente ricos en elementos nutritivos. Con esta técnica de agricultura a pequeña escala se pueden producir de manera escalada una amplia variedad de cultivos, que pueden generar importantes ingresos económicos.

La agricultura urbana es una alternativa en la cual se aplican las diferentes técnicas de hidroponía, estas se pueden realizar a una escala comercial, es decir como actividad lucrativa, o solo como una alternativa a menor escala para autoconsumo, garantizando un consumo de vegetales de buena calidad y disminuyendo los gastos de la canasta familiar.

2. JUSTIFICACIÓN

La demanda de vegetales a nivel mundial va en aumento debido al interés por una alimentación sana y balanceada. La técnica hidropónica tiene como principal ventaja el uso de espacios que se encuentran disponibles en los hogares pero no tienen un fin determinado; brindando al pequeño agricultor hidropónico muchas ventajas como el invertir su tiempo libre en actividades productivas, mejorar su dieta frente al consumo de vegetales frescos pero también una utilidad económica.

El municipio de Florida cuenta en la actualidad con más de 2.000 pequeños y medianos productores agropecuarios, asentados y distribuidos en las zonas planas, medias y altas del territorio. Esta cantidad de agricultores se encuentra representada por comunidades afro descendientes indígenas y campesinos colonos. Actualmente la extensión municipal cultivada se encuentra distribuida principalmente en los siguientes cultivos; banano 135 ha; cítricos 95 ha, Mango 21 ha, mora 17.5 ha, guayaba 9 ha. (Florida, 2012).

La demanda de Hortalizas en el municipio de Florida en el departamento del Valle del Cauca, no puede ser compensada por los productores del municipio quienes se dedican a la producción de otros cultivos. Debido a esto los productos hortícolas son traídos principalmente de centros de acopio como CAVASA o de municipios aledaños, brindando productos de mayor costo y menor calidad.

Debido a la escasa producción de vegetales en el municipio de Florida y considerando la demanda actual, es conveniente implementar técnicas que puedan cubrir esta necesidad. La producción de vegetales mediante la hidroponía brinda una forma de suplir esta necesidad sin tener limitaciones por grandes extensiones de tierra, disminuyendo los costos por laboreo como requieren los cultivos tradicionales, mejorando la calidad del producto final que llega al consumidor.

La técnica hidropónica brinda el beneficio de dar uso a lugares como patios, terrazas, balcones y demás en los que no se realizan actividades productivas o con uso determinado, se adapta a diferentes cultivos y brindan ingresos económicos adicionales al productor.

3. OBJETIVOS

3.1 General

- Producir vegetales empleando la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes (NFT).

3.2 Específicos

- Diseñar el sistema hidráulico de flujo laminar de nutrientes (NFT).
- Construir un sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT).
- Evaluar el funcionamiento técnico del sistema.
- Cultivar un producto agrícola (vegetal).

4 MARCO CONTEXTUAL

4.1 Origen de la Hidroponía

La palabra hidroponía deriva del griego hydro (agua) y ponos (Labor o trabajo) es traducido literalmente como trabajo en el agua y es una técnica de producción de cultivos sin suelo (Malga, 2001). La hidroponía es bastante antiquísima, pero de reciente redescubrimiento, en función comercial hace 40 años (Castillo, 1996). La hidroponía estudia los cultivos sin tierra; en la antigüedad hubo civilizaciones que la usaron como medio de subsistencia. Por ejemplo, los aztecas construyeron una ciudad en el lago de Texcoco (la ciudad de México se encuentra ubicada sobre un lago), y cultivaban maíz en barcos o barcasas con un entramado de pajas (Barbado, 2005).

Los cultivos sin suelo o denominados cultivos hidropónicos, surgen como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo principal objetivo es eliminar o disminuir los factores limitantes del crecimiento vegetal asociados a las características del suelo, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas.

Desde el año 1600 (Helmont), documentó una experiencia mostrando que las plantas obtienen sustancias nutritivas a partir el agua (Asociación Hidropónica Mexicana A.C., s.f.). Por su parte John Woodward (1699), encontró que el crecimiento de las plantas era el resultado de ciertas sustancias en el agua, obtenidas del suelo (Resh, 2006).

En 1804 el químico De Saussure (1804), expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire (Asociación Hidropónica Mexicana A.C., s.f.), lo cual fue comprobado por Boussingault en 1851.

Otros trabajos de investigación habían demostrado por aquella época que las plantas podían cultivarse en un medio inerte humedecido con una solución acuosa que tuviese los minerales requeridos por las plantas (Resh, 2006).

Los científicos alemanes Sachs y Knop demostraron que las plantas podían cultivarse en un medio inerte humedecido con solución nutritiva y esto dio origen a la nutricultura (Asociación Hidropónica Mexicana A.C., s.f.). En estas investigaciones de nutrientes se llegó primero a la conclusión que se conseguía un desarrollo normal de las plantas sumergiendo sus raíces en nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), y magnesio (Mg), los cuales se conocen actualmente como macronutrientes. Posteriormente se encontraron siete elementos que requería la planta en menores proporciones es el caso del hierro

(Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo); estos fueron llamados microelementos o elementos trazas (Resh, 2006).

En los años siguientes se desarrollaron varias fórmulas básicas para el estudio de la nutrición vegetal. Estos trabajos fueron realizados por Hoagland (1915), Trelease (1919) (Asociación Hidropónica Mexicana A.C., s.f.).

Entre los años 1925 y 1935, muchas organizaciones de América han logrado importantes avances en la tecnología de la hidroponía. Varias estaciones experimentales agrícolas desarrollaron los métodos necesarios para el cultivo hidropónico de gran escala y la sustitución del suelo por una solución nutritiva. Fue durante este tiempo que Willian Frederick Gericke, acuñó el término “hidroponía” (Hidroponía y Cultivos Hidropónicos, 2009).

En la actualidad se produce a gran escala y existen organizaciones dedicadas a la investigación de esta técnica para mejorar la producción.

A nivel mundial la hidroponía ha tenido una reactivación, debido a la facilidad de producción a gran escala (comercialización) o para autoconsumo en huertas pequeñas llamadas huertos urbanos.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), apoya la transformación de la agricultura urbana y periurbana hacia el uso del suelo urbano como actividad económica reconocida, integrada en las estrategias nacionales y locales de desarrollo agrícola, los programas de alimentación y nutrición y la planificación urbana. (FAO). En este sentido, la agricultura urbana es practicada por 800 millones de personas en el mundo, apoyando a la población de bajos ingresos a ahorrar dinero en la compra de alimentos.

La FAO ha promovido vigorosamente la agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe, en ciudades desde Puerto príncipe hasta El Alto, en el altiplano boliviano, a través de iniciativas en las que han participado los gobiernos de los países, las alcaldías, la sociedad civil y organismos no gubernamentales. Este trabajo de base se ha visto recompensado con un reconocimiento cada vez mayor de la importante función de la agricultura urbana y periurbana en el desarrollo urbano sostenible. (FAO, Ciudades Más Verdes en América Latina y el Caribe).

Para evaluar el estado de la agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe, la FAO llevó a cabo en 2013 una encuesta en 27 países que proporcionó datos sobre agricultura de 110 ciudades y municipios, desde grandes aglomeraciones como la Ciudad de México hasta comunidades como San José del Golfo , en Guatemala; desde la próspera capital regional de Belo Horizonte, en Brasil, hasta los campamentos de las afueras de Puerto Príncipe donde se hacían personas desplazadas.(FAO, Ciudades Más Verdes en América Latina y el Caribe).

La investigación de la FAO ha confirmado que la agricultura urbana y periurbana está muy difundida en la región. Se practica, por ejemplo en un 40% de los hogares de Cuba y en el 20% de los de Guatemala y Santa Lucía. En las principales ciudades y municipios del Estado Plurinacional de Bolivia, 50.000 familias son productoras de alimentos. En Bogotá, 8.500 familias producen alimentos para consumo doméstico. En Haití, 25.500 familias cultivan 260 ha de tierra, en Puerto Príncipe y sus alrededores y en otras ciudades (FAO, Ciudades Más Verdes en América Latina y el Caribe).

En México la prioridad es combatir el cambio climático con nuevas propuestas en el uso de energía renovable y eficiencia energética. Una solución sustentable a largo plazo son los denominados huertos urbanos porque contrarrestan los gases de efecto invernadero y la contaminación, mejoran la calidad del aire, además evitan la deforestación de bosques, regulan la temperatura y el clima local del lugar donde se encuentran situadas, también recuperan el ciclo natural del agua y ayudan a revertir el cambio climático.

El Instituto Politécnico Nacional (IPN) creó el proyecto azoteas verdes en el que incluyen sistemas de cultivos con hidroponía. Con este se promueve la instalación de huertos en espacios libres como azoteas, jardines y suelos infértiles dentro de la ciudad, con esto no solo se disminuye la acumulación de calor en las grandes ciudades, también se recuperan áreas verdes, se fomenta la agricultura y la producción de alimentos ricos en elementos nutritivos (<http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/>)

La hidroponía genera ventajas a los productores a gran escala ya que con esta técnica disminuyen los costos de laboreo en cultivos con grandes extensiones y favorece a la producción de vegetales de excelente calidad.

A nivel internacional se encuentran diferentes empresas y centros educativos cuyo eje principal es la investigación y producción de vegetales con técnicas de hidroponía; dentro de los que se puede nombrar la Universidad Nacional Agraria La Molina que tiene un centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, ubicada en Perú.

En Colombia, el programa Red de Seguridad Alimentaria (ReSA), que a través de la participación voluntaria tiene como objetivo impulsar proyectos productivos de generación de alimentos para el autoconsumo que permita producir un cambio de actitud de las poblaciones beneficiadas hacia la seguridad alimentaria. Está dirigido a todos los pequeños productores agropecuarios vulnerables o vulnerados por la violencia en cualquier región del país y la población radicada en asentamientos subnormales de los centros urbanos, grandes receptores de población desplazada.

En Cali la Fundación Carvajal ha desarrollado de manera específica este proyecto que atiende en la actualidad 1080 familias pertenecientes a la Red UNIDOS ubicadas en las comunas 15 y 18 de Cali, con énfasis en el acceso a los alimentos y la mejora de prácticas para el consumo de alimentos saludables.

Los resultados muestran que en 1.022 familias, se logró la difusión de la Seguridad Alimentaria como instrumento de comunicación y dialogo entre las comunidades y los demás actores del colectivo social. De ellas, 911 Familias producen alimentos sanos para el autoconsumo a través del establecimiento de huertas: Existen 844 huertas familiares y 5 huertas comunitarias que vinculan a 67 familias. Estas familias reducen 14 % del costo de la canasta familiar por la vía del no gasto y aplican prácticas ambientales relacionadas con el manejo de residuos sólidos (Carvajal).

En la ciudad de Bogotá, el Jardín Botánico lidera un proyecto de agricultura urbana que ya ha capacitado a más de 53.000 personas, en 19 localidades de la capital. Además de concentrarse en la población vulnerable, los talleres, en los que se facilita algunos materiales básicos para construir una huerta casera, han llegado a todos los estratos. En la actualidad se calcula que aproximadamente existen 10.000 agricultores urbanos, sin tener en cuenta los programas universitarios que adelantan por su lado iniciativas similares, como los desarrollados principalmente por la Universidad de los Andes, la del Rosario, la Corporación Universitaria Minuto de Dios, Corpoíca, el Jardín Botánico y el SENA (Lema, 2014).

Las principales desventajas del cultivo hidropónico se encuentran relacionadas con el elevado costo inicial para establecer el sistema. Es necesario construir los umbráculos, instalar tuberías, bomba de agua y la instrumentación adecuada para controlar los distintos procesos que intervienen en la aplicación de la técnica.

El control preciso de los aspectos nutricionales y la aparición de algunas enfermedades como *fusarium*² y *Verticillium*, son temas que deben ser considerados con mucho cuidado. Ambos aspectos pueden ser controlados con una mayor oportunidad de éxito utilizando sistemas simples como la Técnica de Nutrición Laminar (NFT) y el uso de variedades resistentes a las enfermedades (Irizarri Otaño).

².Pythium spp., Fusarium spp. Verticillium son hongos que producen la muerte de plántulas en el semillero y pudrición de las raíces en el cultivo hidropónico lo que se traduce como una producción de plantas de pobre desarrollo y baja calidad.(<http://agricultura.uprm.edu/sea/clinica/CldiaEnfHidrop.pdf>)

5 MARCO TEÓRICO

5.1 Cultivos hidropónicos

Los cultivos hidropónicos o hidroponía son definidos como las técnicas de cultivo de plantas sin utilizar suelos agrícolas. Este se hace mediante el uso de un medio inerte y de soluciones minerales con nutrientes esenciales para el normal desarrollo de los vegetales. En el cultivo hidropónico se encuentra más de un método de producción que puede adecuarse a formas, tamaños, procesos fisiológicos y crecimiento de las plantas.

Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abiertos y cerrados. Los abiertos son aquellos donde la solución nutritiva es aplicada a las raíces de las plantas (no es reusada) y cerrados cuando la solución excedente es recuperada, regenerada o reutilizada.

Técnica de sustrato: un sustrato es un medio material donde se desarrolla el sistema radicular del cultivo. Presenta un volumen físico limitado, debe encontrarse aislado del suelo y tiene como función mantener la adecuada relación de aire y solución nutritiva para proporcionar a la raíz el oxígeno, los nutrientes y soporte a la planta.

Los sustratos pueden ser de piedra pómez, grava, roca volcánica, arena de río, perlita, vermiculita, arcillas expandidas, lana de roca, aserrín, fibra de coco, cascarilla de arroz, entre otros.

Técnicas Recirculante: consiste en usar canales por el que pasa una lámina de solución que está en contacto con las raíces, en la cual se regulan constantemente el pH y la conductividad eléctrica.

Técnica estacionaria o de raíz flotante: consiste en utilizar contenedores de cualquier tipo de material el cual no debe permitir el paso de luz, en el que las plantas son sostenidas por una lámina de icopor y las raíces están dentro de la solución.

Técnicas aéreas o aeroponía: consiste en mantener las raíces libres de cualquier otro medio quedando en el aire y dentro de un medio oscuro. La solución nutritiva se aplica por medio de nebulizadores, controlados por temporizadores.

Dentro de las ventajas de la técnica hidropónica se encuentran

- Evitar la realización de laboreos en el suelo, porque no se usa el suelo agrícola para el desarrollo de estos cultivos.

- Mayor producción respecto al cultivo en suelo, porque en los cultivos hidropónicos se le agregan los nutrientes a la plata de manera controlada.
- Mayor sanidad del cultivo a nivel radicular, ya que los cultivos hidropónicos son cultivados sin suelo o en sustratos limpios y libres de contaminación.
- Mayor densidad de la población, ya que la limitante en estos cultivos es la iluminación.
- Mayor calidad del producto
- Brinda la posibilidad de cultivar repetidamente la misma especie de planta, ya que no existe el agotamiento de nutrientes como en el suelo.
- Mayor limpieza e higiene.
- Eficiencia en el uso de fertilizantes, brindando una nutrición completa relativamente estable y homogénea para todas las plantas.

Como desventajas se mencionan las siguientes:

- Requiere para su manejo a escala comercial de conocimiento técnico combinado con la comprensión de los principios de fisiología vegetal y de química orgánica.
- En el ámbito comercial la inversión inicial es relativamente alta.
- Se requiere conocer y manejar la especie que se cultive en el sistema.
- Requiere de un abastecimiento continuo de agua.
- Requiere de grandes inversiones según la técnica a emplear.
- No existe una difusión amplia de lo que es la hidroponía.

5.2 Técnica Hidropónica de flujo laminar de nutrientes NFT

La técnica hidropónica de solución nutritiva recirculante, conocida como (NFT), es el sistema hidropónico más popular para la producción de cultivos en el mundo. Este sistema fue desarrollado en la década del sesenta por el Dr. Allan Cooper, en Inglaterra. Desde esta época, este sistema de cultivo destinado principalmente a la producción de hortalizas de alta calidad en invernadero, se ha desarrollado y difundido en un gran número de países donde existen condiciones restrictivas de

suelo y un mercado promisorio para abastecer con hortalizas frescas de alta calidad y sanidad (Gavilán, 2004).

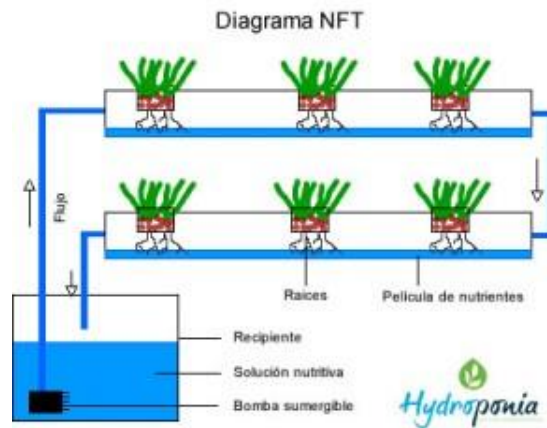


Figura 1 Diagrama de NFT (hidropónico, s.f.)

El sistema NFT (Figura 1) es un sistema de cultivo en agua, donde la solución nutritiva circula continuamente por una serie de canales de cultivo donde se desarrollan las raíces de las plantas. Por este canal corre una película de agua que contiene los nutrientes de unos 3 a 5 milímetros, suficientes para alimentar la planta y permitir la oxigenación de las raíces. Los canales cerrados mantienen la humedad lo que protege contra la deshidratación de las raíces y limita la evaporación de agua en el sistema.

El principio del sistema consiste en recircular la solución nutritiva por medio de una electrobomba a través de tuberías de distribución, hacia una serie de canales de PVC. Los canales están apoyados sobre mesas o caballetes, y tienen una ligera pendiente que facilita la circulación de la solución nutritiva a lo largo de ellos. Luego la solución nutritiva se recolecta en una tubería de drenaje conectada con el tanque de almacenamiento (Malga, 2001).

La electrobomba funciona continuamente durante las 24 horas del día, o de manera intermitente controlada por un temporizador. La bomba envía a los canales un pequeño flujo, el cual forma una película o lámina de 3 a 5 mm de solución nutritiva. Este flujo continuo de solución nutritiva mantiene a las raíces en contacto permanente con la solución, lo cual permite una buena oxigenación de la raíces y un suministro adecuado de nutrientes minerales esenciales para las plantas (Malga,

2001). Como la técnica de flujo laminar de nutrientes o (NFT) es un sistema cerrado, también se le conoce como sistema de recirculación continua; lo cual nos indica que la solución nutritiva después de pasar por el sistema regresa al tanque de almacenamiento mediante un colector para ser bombeada (recirculación).

Al emplear el sistema de flujo laminar de nutrientes (Backes, 2007), se encontró que el rendimiento y las características comerciales de las flores *lisianthus*, en cuatro cultivos (Echo Champagne, Mariachi puro blanco, amarillo y Ávila Balboa borde azul), aplicando tres soluciones nutritivas se mejoró el rendimiento, específicamente en Echo Champagne y Ávila Borde Azul. Por su parte, para el Ávila Balboa, se obtuvo un incremento en el número promedio de hojas por tallo de la flor para el cultivo Echo, 120 días después del trasplante.

(Garlet e Santos, 2008), determinaron los niveles y la acumulación de nutrientes en tres especies de Menta (*M. arvensis*) empleando la técnica hidropónica de Flujo Laminar de nutrientes (NFT). El trabajo realizado en condiciones de invernadero mostró alta producción de biomasa y mayor acumulación de nutrientes como nitrógeno, calcio, potasio, hierro, manganeso y zinc en todas las partes de la planta.

Por su parte, (Vásques Vásques, 2008), al estudiar el efecto de soluciones nutritivas en la producción y calidad del Berro (*Nasturtium officinale* R. Br.), demostró que las soluciones nutritivas influyeron significativamente en la mayor expresión de altura, diámetro de tallo, peso fresco y seco de la plantas de berro a través de las diferentes estaciones (cuatro cosechas de enero a noviembre).

Para estudiar la respuesta del tomate chonto (cultivar UNAPAL Maravilla) con diferentes concentraciones de nutrientes (Mejía de Tafur, Estrada S., & Franco P., 2005), en una casa de malla determinaron los requerimientos nutricionales empleando un sistema hidropónico, encontrando que en las primeras fases de crecimiento (27 y 34 días), las plantas se desarrollaron bien con soluciones nutritivas menos concentradas y que el crecimiento y producción óptima del cultivo se obtiene con una concentraciones de nitrógeno (13 y 20 mM); fósforo (1 y 1.5 mM); potasio (5 y 8 mM); calcio (4 y 6 mM), y manganeso (2 y 4 mM).

(Conn, 2013), estableció un protocolo para optimizar los sistemas hidropónicos de crecimiento para el análisis nutricional y fisiológico de *Arabidopsis thaliana* y otras

plantas, encontrando que el sistema es ideal para manipular plantas empleando técnicas de micro pipeta, como la electrofisiología³.

5.3 Relación Agua – Planta

El agua es el principal componente de las plantas, en algunos de cuyos órganos representa más del 90% en peso. Actúa como disolvente y medio de transporte de gases, minerales y otras sustancias esenciales para la vida vegetal y es así mismo un reactivo de procesos fundamentales como la fotosíntesis (Pizarro, 1990).

La circulación del agua en los vegetales cumple la función de transportar nutrientes y otras sustancias. El agua, con los nutrientes que lleva disueltos se mueve principalmente hacia arriba en las plantas, a través de los tejidos de xilema. El xilema está compuesto de distintos tipos de células, formando un sistema conductor en la planta. Este tejido vascular que se denomina comúnmente vena o vaso (Resh, 2006).

El agua se mueve desde los vasos del xilema a las células del mesofila en las hojas, evaporándose y distribuyéndose a través de los estomas en la atmósfera. Esta pérdida del agua en la evapotranspiración debe ser reemplazada por un aporte de agua en las raíces de las plantas o, si no, ocurrirá un estrés hídrico, el cual si permanece, llegará a causar la muerte de la planta. En el proceso de absorción del agua, los minerales son transportados hasta las células que contienen clorofila, donde son utilizados en la elaboración de alimentos por medio del proceso fotosintético (Resh, 2006).

5.4 Nutrición de las plantas

Los cultivos hidropónicos se han desarrollado a través de los estudios de los constituyentes de las plantas, los cuales han permitido descubrir los elementos esenciales para la nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones de nutrientes (Resh, 2006).

Los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas deben cumplir uno de los tres criterios:

- La planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento.

³ **Electrofisiología** es el estudio de las propiedades eléctricas de células y tejidos biológicos. Incluye medidas de cambio de voltaje o corriente eléctrica en una variedad amplia de escalas, desde el simple canal iónico de proteínas hasta órganos completos como el corazón.

- La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente.
- El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta.

De los 16 elementos químicos considerados necesarios para el crecimiento saludable de las plantas, 13 son nutrientes minerales (Tabla 1). Ellos en condiciones naturales de cultivo (suelo) entran a la planta a través de las raíces. Los nutrientes son divididos en dos grupos: los macronutrientes (macroelementos) son aquellos requeridos en mayor cantidad por las plantas, y los micronutrientes (elementos traza o menores) son aquellos que se necesitan en menor cantidad (FAO, La Huerta Hidropónica Popular, 2003).

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se suministran a las plantas disolviendo las sales fertilizantes en agua. Las sales fertilizantes deben tener una alta solubilidad⁴, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas (Resh, 2006).

Las soluciones nutritivas concentradas contienen todos los elementos que las plantas necesitan para su correcto desarrollo y adecuada producción de raíces, tallos, hojas, flores y frutos (Marulanda, 2003). La absorción relativa de los diversos elementos minerales por las plantas está efectuada por condiciones ambientales, naturaleza de la cosecha y el estado de desarrollo de la planta.

La ausencia de un suelo que actúe como amortiguador en los sistemas hidropónicos propicia a que la cosecha responda rápidamente a una deficiencia o a un exceso de nutrientes. Una deficiencia nutricional se produce cuando uno o varios de los elementos esenciales no se encuentran en suficiente cantidad; mientras que si se encuentran en cantidades mayores a las requeridas causan toxicidad (Bosques Vargas, 2003).

⁴ La solubilidad es la medida de la concentración de sal que permanece en solución cuando se disuelve esta en agua; si una sal tiene baja solubilidad, solamente una pequeña cantidad de esta se disolverá en el agua.

Tabla 1 Grupos de elementos (FAO, *La Huerta Hidroponica Popular* , 2003)

Macronutrientes	Micronutrientes
Nitrógeno (N): Forma parte de los aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila.	Hierro (Fe): Encargado de la síntesis de clorofila y como portador de electrones en la fotosíntesis.
Fósforo (P): Constituye enzimas, ácidos nucleicos, fosfolípidos, glucosa.	Cloro (Cl): Actúa como activador de enzimas para producción de oxígeno a partir del agua de la fotosíntesis.
Calcio (Ca): Actúa como regulador del transporte de carbohidratos y forma parte de la estructura de la pared celular.	Manganeso (Mn): Participa en la producción fotosintética de oxígeno a partir del agua y forma parte en la formación de clorofila.
Potasio (K): Activador de enzimas y síntesis de proteínas.	Cobre (Cu): Se involucra en la formación de la pared celular y es parte de algunas enzimas.
Azufre (S): Constituyente de amino ácido y proteínas.	Zinc (Zn): Necesario para la formación de ácido indolacético.
Magnesio (Mg): Parte esencial de la molécula de clorofila.	Boro (B): Se encarga en el transporte de carbohidratos y viabilidad del polen.
	Molibdeno (Mo): Forma parte del nitrato.

5.5 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) se define como un estimador de la concentración de sales disueltas en el agua, permitiendo evaluar la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica. Esto es fundamental ya que las raíces utilizan estas cargas para tomar los elementos, cuyo valor se expresa en mS/cm⁵ (Hydroenvironment).

La conductividad eléctrica es un indicador indirecto de la concentración salina del agua y de la solución nutritiva. Hay muchas formas de expresar la salinidad de una solución. Una de ellas consiste en expresar la cantidad de sales disueltas en un volumen de solución (Pizarro, 1990).

⁵ mS/cm= milisimens sobre centímetro.

La conductividad eléctrica en la hidroponía tiene su importancia en la asimilación de los nutrientes para plantas, el tener lecturas altas de CE resultan valores fitotóxicos⁶, pero en el caso de ser bajos se tiene deficiencia de nutrientes. Así que para mantener la disponibilidad de nutrientes se recomienda mantenerla en los rangos de 1.5 a 3 mS/cm o 750 a 1500 ppm.

5.6 pH en cultivos hidropónicos

El pH en la hidroponía indica la disponibilidad de la sales en la solución, el pH de la mezcla entre agua y fertilizante afecta las propiedades químicas de las sustancias que la componen así como las propiedades de las raíces (particularmente, la carga eléctrica alrededor de ellas). La consecuencia es que hay sustancias que son más fáciles de absorber por las raíces a un cierto pH, y otras que requieren un pH diferente.

Según la figura 2 hay un rango de pH en el que todos los nutrientes son fáciles de absorber. Este rango va desde 5.5 hasta 7. Si la mezcla de agua con fertilizante tiene un pH muy alejado de este rango, las plantas no podrán capturar uno o más de los nutrientes que necesita y se empiezan a presentar deficiencias nutricionales.

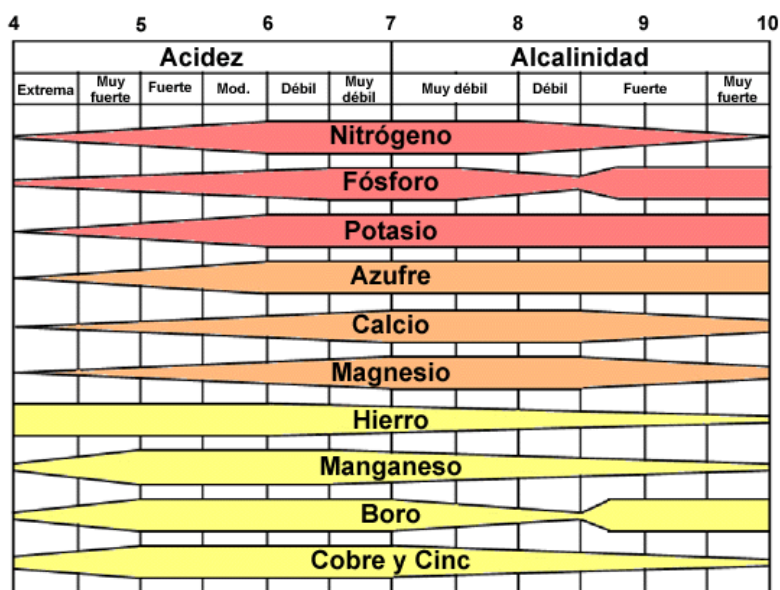


Figura 2 Tabla pH y nutrientes (El huerto del cuco, s.f.)

⁶ Fitotóxicos: presentan toxicidad en la planta

5.7 Necesidades hídricas de los cultivos

La determinación del punto o momento óptimo de riego es una cuestión muy importante en el manejo del riego y en el proyecto de las instalaciones. Su importancia agronómica es evidente ya que un planteamiento incorrecto puede conducir a una disminución en las producciones, generalmente en el caso de intervalo excesivo de riegos, o a un costo innecesariamente alto en operaciones de riego en el caso de un intervalo demasiado corto (Pizarro, 1990).

El punto óptimo de riego determina la dosis de agua en el intervalo, los cuales condicionan la capacidad de las redes de conducción del agua, instalaciones de bombeo y almacenamiento, etc.

El cálculo de las necesidades de agua puede hacerse a partir de los datos que suministra la experiencia local o por medio de métodos empíricos que, en general, evalúan la evapotranspiración a partir de los registros climáticos y otros factores.

La evaporación es el término que se ha convenido aplicar a la evaporación directa desde el suelo a la atmósfera y la transpiración es la evaporación desde los estomas de las plantas del agua que han absorbido del suelo (Pizarro, 1990).

La evapotranspiración se calcula a partir de la ecuación 1.

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde: K_c = Coeficiente del cultivo. Es diferente para cada especie y en el que intervienen algunas circunstancias tales como fase de crecimiento en los cultivos herbáceos (Anexo 1). ET_0 = Evaporación de la zona (mm/día).

En el caso de cultivos hidropónicos las necesidades hídricas de los cultivos se convierten en las necesidades netas de riego, debido a que en las necesidades netas del cultivo en suelo se tiene en cuenta la precipitación efectiva, el aporte por capilaridad, y la variación en el almacenamiento de agua en el suelo. En el sistema hidropónico empleado estas variables no se tienen en cuenta en ya que es cerrado.

$$N_n = ET_{rl} - \cancel{p_e} - \cancel{C_w} - \cancel{\Delta W}$$

$$N_n = ET_{rl}$$

Ecuación 2

Se calcula las necesidades totales por planta.

$$N_t = \frac{N_n}{(1 - k)C_u}$$

Ecuación 3

Donde N_n = necesidades netas del cultivo

C_u = coeficiente de uniformidad

K = factor de corrección

$K = (1 - E_a)$, donde E_a es la eficiencia de aplicación.

$K = LR$, donde LR es la lámina de lavado que para este caso no aplica

Para abastecer la superficie de cultivo, teniendo en cuenta las necesidades totales por planta con el número de árboles.

$$Nh = N_t * \text{Número de plantas}$$

Ecuación 4

5.8 Diseño hidráulico

El diseño hidráulico tiene por finalidad el cálculo de las dimensiones de la red de distribución y de la optimización del trazado, de forma que se pueda aplicar el agua suficiente para los cultivos durante cualquiera de sus fases de desarrollo; otro objetivo es conseguir que la aplicación del agua sea lo suficientemente uniforme. Con todo ello se obtendrán buenas producciones con el menor gasto de agua.

5.8.1 Tubería de alimentación

Las tuberías de alimentación son aquellas donde se derivan los laterales. Los laterales son los tubos que soportan las plantas. En estas tuberías se realiza la conducción con salidas múltiples distribuidas uniformemente por las que se descarga el caudal.

$$Q = nq$$

Ecuación 5

Donde, Q = Caudal del ramal, n = número de salidas, q = caudal de cada lateral.

5.8.2 Coeficiente de Christiansen.

Basado en calcular la pérdida en una tubería de igual longitud, diámetro y rugosidad, sin salidas intermedias, por la que circula el caudal Q. Posteriormente se multiplica por un coeficiente reductor F (factor de Christiansen) para que las pérdidas en ambos casos sean equivalentes.

El factor de Christiansen (F) se puede calcular mediante la expresión:

$$F = \frac{1}{1 + \beta} + \frac{1}{2n} + \frac{\sqrt{2\beta}}{6n^2}$$

Ecuación 6

Siendo n el número de derivaciones (emisores) y β el exponente de la fórmula utilizada en la pérdida de carga.

El valor del coeficiente de Christiansen F puede conocerse mediante el empleo de la tabla de los coeficientes de Christiansen (Anexo 2), cuando la primera derivación esté a una distancia del comienzo de la tubería (l_0) igual a la distancia entre las derivaciones (l) o esta distancia sea la mitad.

Sin embargo, en una distribución discreta puede darse cualquier valor de la relación entre l_0 y (l). Para estos casos, se dispone de la siguiente expresión general del factor F:

$$F_r = \frac{r + n(F - 1)}{r + n - 1}$$

Ecuación 7

Donde F_r es el valor ajustado del factor de Christiansen para cualquier valor de r (relación entre la longitud hasta la primera derivación y la separación entre las demás derivaciones equidistantes), $r = l_0/l$.

5.8.3 Estimación de la pérdida unitaria J

Se considera la pérdida de carga permisible en la tubería de conducción, esta debe ser igual o menor al 2% de la longitud de la tubería o que la velocidad sea menor a 2.5 m/s. De este modo la pérdida de carga en la tubería de conducción será:

$$hf_c = l Crc$$

Ecuación 8

Donde L (m): longitud de la tubería

Crc = criterio de diseño de la tubería de conducción, pérdida de carga en la tubería.
Hfc= pérdida de carga de la tubería de conducción.

Luego se determina la pérdida de carga (J) por metro de tubería, que se encuentra

$$J = hf_c / L$$

Ecuación 9

5.9 Especies aptas para el cultivo hidropónico.

Tomando en cuenta los factores climáticos y en su momento el económico, las siguientes especies son recomendadas para su cultivo hidropónico: Lechuga, (todas sus variedades) tomate, jitomate, (todas sus variedades) fresa, cilantro, pepino, acelga, chile, pimienta, ajo, cebolla, papa, calabaza, plantas aromáticas, sandía, melón, estragón y plantas ornamentales como: dalias, orquídeas, girasoles, rosas, entre otras.

Debido a la ubicación geográfica y el clima de la región se analizó y decidió que las especies más adecuadas para el cultivo mediante la técnica hidropónica NFT son la lechuga y el repollo

5.9.1 Cultivo de lechuga

La lechuga procede de la especie silvestre *Lactuca scariola* L., clasificada como maleza y difundida ampliamente en el centro y sur de Europa, así como en Rusia. Es originaria de Asia, probablemente de Asia menor y se encuentran pinturas que representan a esta hortaliza en tumbas de Egipto que datan del año 4500 a. de C.

Se cultiva casi en todo el mundo en climas fríos como planta medicinal y como verdura; para consumirla en ensaladas, en platos fríos o como adorno de platos especiales, no se le permite florecer (Malga, 2001).

Es una planta anual y autógena, perteneciente a la familia Asteraceae *Compositae* (*Asteráce Compuesta*) y cuyo nombre científico es *Lactuca Sativa* L (Infoagro, s.f.). La raíz, que no llega a sobre pasar los 25 cm. de profundidad, es pivotante, corta y con ramificaciones (Infoagro, s.f.). Las hojas están colocadas en roseta, desplegadas al principio; en unos casos siguen así durante todo su desarrollo (variedades romanas), y en otras se acogollan más tarde. El borde de los limbos puede ser liso, ondulado o aserrado (Infoagro, s.f.). Su tallo es cilíndrico y ramificado

(Infoagro, s.f.). Sus semillas son largas (4 – 5 mm), su color generalmente es blanco crema, aunque también las hay pardas y castañas; cabe mencionar que las semillas recién cosechadas por lo general no germinan, debido a la impermeabilidad que la semilla muestra en presencia del oxígeno (Malga, 2001).

5.9.2 Cultivo Col o Repollo

La Col o Repollo es originaria de Europa. Hay constancia de los celtas, griego y romanos. También hay constancia de que los conquistadores la llevaron a América, para plantar sus verduras y legumbres. Lo que no se sabe es si ya existía, porque en tierras americanas existía un género llamado quelites, que englobaban, un montón de vegetales silvestres que los indígenas consumían. Pertenecen a la familia de las Crucíferas y se cultivan en campos. Existen muchas especies de este género, pero de la misma familia tenemos a las coles de brúselas, el brécol, el repollo y coliflor. Necesitan de climas templados. Todas ellas contienen azufre, que es un potente antioxidante (Alimentación Sana, s.f.). La planta forma una raíz principal llamada pivote que penetra considerablemente en el suelo cuya finalidad primordial es servir de anclaje a la planta; de esta raíz pivotante se deriva un sistema secundario o fasciculado, para la obtención de agua y nutriente. El 80 % de las raíces se encuentra entre los 5 y 30 cm de profundidad (Jaramillo N. & Díaz D., 2006).

Sus hojas son: Alternas, simples, sin estípulas, con frecuencia lobuladas de color verde glauco o rojizas, de bordes ligeramente aserrados (Jaramillo N. & Díaz D., 2006).

Tallo: Herbáceos erguidos, cortos, poco ramificados, que adquieren una consistencia leñosa. Generalmente no sobrepasan los 30 cm, de altura; debido a que el crecimiento en longitud se detiene en un estado temprano (Jaramillo N. & Díaz D., 2006).

Inflorescencia: Las flores se forman generalmente en racimos terminales, los cuales se desarrollan a partir del tallo principal. Son de color amarillas, compuestas de cuatro sépalos y cuatro pétalos formando una abertura terminal en forma de cruz (Jaramillo N. & Díaz D., 2006).

Semillas: pequeña, con cerca de 1/16 de pulgada de diámetro; de forma globular, superficie lisa y de tonalidades cafés en su completa madurez (Jaramillo N. & Díaz D., 2006).

6 MATERIALES Y MÉTODO

6.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se llevó a cabo en un predio urbano del Municipio de Florida, localizado al sur oriente del Departamento del Valle del Cauca, Región Andina, Colombia, en el Valle Geográfico del río Cauca cerca del piedemonte de la Cordillera Central, a una distancia de 42 Km de la Capital del Departamento.

Geográficamente el Municipio de Florida Valle del Cauca se localiza en la Latitud Norte: 3° 19' 45", Longitud Oeste: 76° 14' 00"; las alturas con respecto al Nivel del mar varían entre los 1088 (zona plana) y los 4120 m.s.n.m (zona de páramo) (IGAC)).

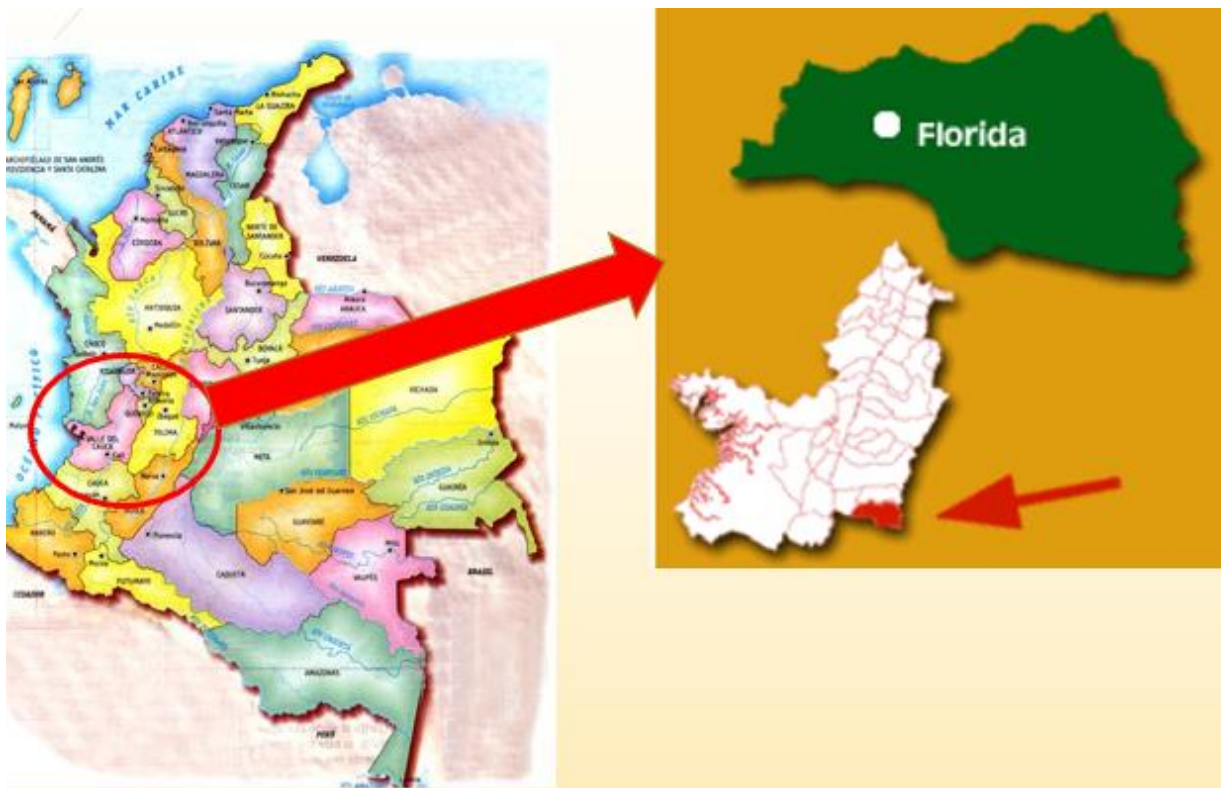


Figura 3 Mapa de localización del proyecto.

6.2 Área del proyecto.

El área empleada en el proyecto fue la terraza de un predio privado ubicado en el casco urbano del municipio de florida. Se realizó en un espacio aproximado de 50 m². (Figura 4)



Figura 4 Área del proyecto.

6.3 Materiales

- Madera
- Tornillos para madera
- Plástico (negro y transparente)
- Malla antitrips
- Papel periódico
- Vasos desechables de 1 onza
- Espuma
- Tubería de PVC
- Tubos de acero cuadrado
- Alambre Galvanizado
- Pegante PVC
- Grapas
- Bandejas de Polipropileno de 200 cavidades
- Turba
- Semillas
- Lamina de icopor
- Fertilizantes
- Agua
- Regla, Lápiz

6.4 Herramientas

- Taladro
- Grapadora
- Computador
- Martillo
- Cinta métrica
- Cautín
- Tijeras
- Escalera
- Bomba de aire
- Electrobomba
- Temporizador
- Compresor
- Medidor de pH y CE

6.5 Construcción del Invernadero.

La estructura del invernadero se realizó en madera de pino (figura 5), los cuales fueron sellados y barnizados para incrementar la vida útil de la construcción.



Figura 5 Estructura del invernadero y materiales

Como cubierta del invernadero (Figura 6) se utilizó malla de polietileno de alta densidad (antitrips) con un tratamiento UV (anti solar), de color blanco, sombra del 22%, con una porosidad de 0.23 mm y con efecto cortaviento de 71.6%. La malla antitrips es especialmente diseñada para evitar la entrada de insectos nocivos como:

- El minador (*agromyzidae*) que comúnmente se conoce como moscas minadoras, son larvas de insectos que viven en el interior del tejido de las hojas.
- Mosca Blanca (*Aleyrodidae*), son pequeños insectos hemípteros que normalmente se alimentan en el envés de las hojas de las plantas.

- Trips (*Thysanoptera*): son los insectos más pequeños que existen, los daños directos de esta plaga son producidos por picaduras que realizan en el tallo de las plantas.

Adicionalmente protege los cultivos contra la intensidad del viento, regula la entrada de luz solar, mantiene una temperatura estable, controla el nivel de humedad y permite la circulación de aire dentro del invernadero.



Figura 6 Invernadero, materiales y construcción

6.6 Metodología empleada

Teniendo en cuenta que el sistema hidropónico a desarrollar en este proyecto es el de flujo laminar de nutrientes (NFT) el área disponible del proyecto, nos arroja una capacidad máxima de 780 plantas, la capacidad se dividió en partes iguales en especies de lechuga y repollo (390 C/u). Dichas especies iniciaron su proceso desde semilleros, pasando por cada una de las etapas de desarrollo requeridas por este

sistema. Uno de los pasos más importantes en este tipo de cultivo es la creación y dosificación de la solución de nutrientes.

6.6.1 Solución de nutrientes

La solución de nutrientes usada para el tratamiento de los cultivos es la recomendada por la FAO (Tabla 2). La forma de preparar la solución concentrada probada con éxito en varios países de América Latina y el Caribe con más de 30 especies de hortalizas, plantas ornamentales y plantas medicinales, comprende la preparación de dos soluciones madres concentradas (Figura 7), las que se llamaron solución concentrada A (aporta a las plantas los elementos nutritivos que ellas consumen en mayores proporciones) y solución concentrada B (aporta los elementos que son requeridos en menores proporciones, pero esenciales para el desarrollo de la planta). (FAO, La Huerta Hidroponica Popular , 2003).

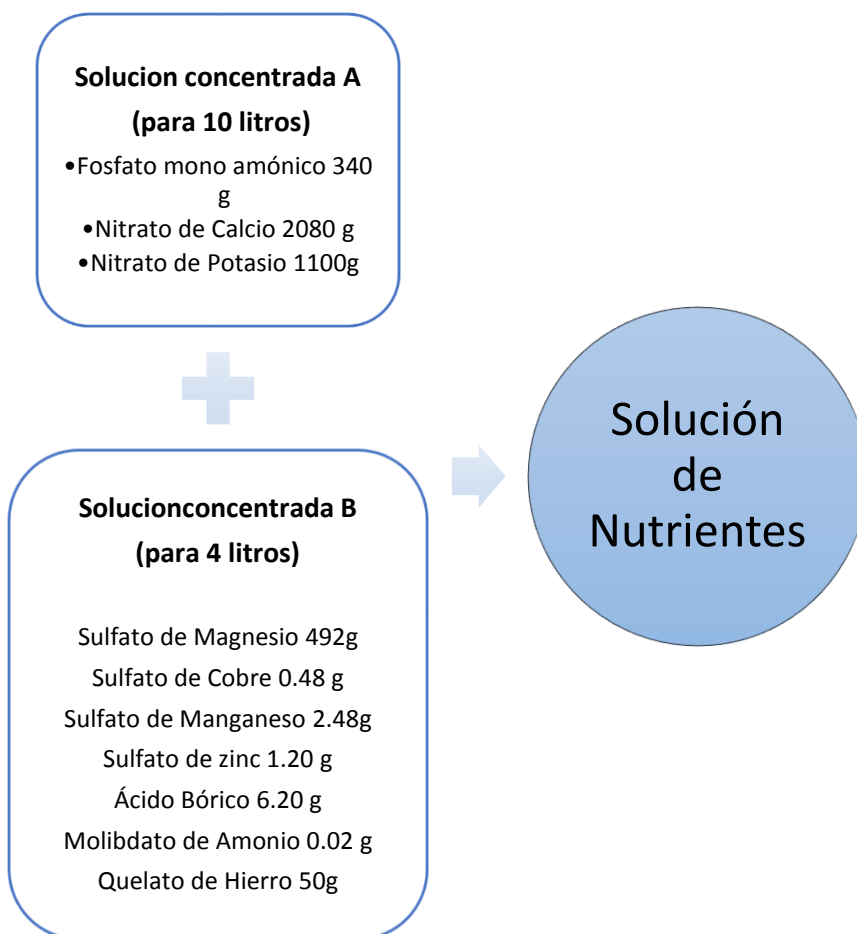


Figura 7 Cantidades para Soluciones concentradas (FAO, La Huerta Hidroponica Popular , 2003)

Cabe aclarar que nunca deben mezclarse la solución concentrada A con la solución concentrada B sin la presencia de agua, pues esto inactiva gran parte de los elementos nutritivos que cada una de ellas contiene, dado esto el efecto de esta mezcla sería perjudicial para los cultivos.

Tabla 2 Equivalencia para la solución nutritiva (FAO, La Huerta Hidroponica Popular , 2003).

Tratamiento	Concentración		
	Agua	Solución Concentrada A	Solución Concentrada B
Total	1 Litro	5.0 ml	2.0 ml
Media	1 Litro	2.5 ml	1.0 ml
Un cuarto	1 Litro	1.25 ml	0.5 ml

Como resultado de las diferencias de absorción de los diversos elementos, la composición de la solución de nutrientes cambiará continuamente, siendo consumidos algunos de los elementos más rápidamente que otros e incrementándose la concentración frecuentemente a causa de que las plantas efectúan una absorción de agua más grande que de sales. En consecuencia a los cambios en la composición de las sales, el pH cambiará como resultado de las reacciones entre los agregados y la absorción no compensada de los aniones y cationes de las soluciones (Resh, 2006).

La vida útil de una solución de nutrientes depende principalmente del porcentaje de acumulación de los iones extraños que no son utilizados por las plantas de forma inmediata. Tales acumulaciones dan como resultado una elevación de la concentración osmótica de la solución de nutrientes. Un medidor de conductividad eléctrica debe usarse para determinar el momento en el cual la solución de nutrientes empieza a estar demasiado concentrada (Resh, 2006).

6.6.2 Etapa de Semillero

Esta etapa comprende la germinación de las semillas de cada una de las especies vegetales; esta se realizó en semilleros de polipropileno de 200 cavidades ubicados en el interior del invernadero, los cuales se llenaron con material orgánico (turba⁷) en cada cavidad se depositaron dos semillas; luego de sembradas las semillas se les agregó agua y se cubrieron con papel periódico (para acelerar un poco la germinación) hasta que se observó la primera plántula. (Figura 8)

Pasados cuatro (4) días, cuando ya habían germinado las plántulas de lechuga y repollo se inició el riego con la solución de nutrientes con media concentración (tabla 2) y se realizó la limpieza dejando solo una plántula por cavidad.



Figura 8 Semillero

⁷ La turba es un material orgánico, de color pardo oscuro y rico en carbono. Está conformado por una masa esponjosa y ligera en la que aún se aprecian componentes vegetales que la originaron.

Las plántulas de lechuga y repollo permanecieron durante 14 días en los semilleros, a fin de que alcanzaran un desarrollo radicular adecuado y mostraran fortaleza en la parte aérea para poder realizar el primer trasplante.

6.6.3 Primer trasplante

El proceso para el primer trasplante de las plántulas fue regar los semilleros con abundante agua una hora antes de realizar el proceso de remoción. El trasplante (Figura 9), se realizó en las horas de la mañana. Las raíces de las plántulas se lavaron con agua limpia, para retirar toda la materia orgánica, luego se envolvieron en una lámina de espuma, se pusieron en una canastilla⁸ con el propósito de dar soporte y por último se colocaron en las láminas de icopor en los contenedores.



Figura 9 Pasos primer trasplante

⁸ Canastilla: es un vaso de 1 onza al cual se le remueve la superficie inferior y se le hacen agujeros. Brindan soporte a las plantas que se producen con técnicas de hidroponía.

Para adaptar el sistema radicular al sistema NFT se recomienda un contenedor lleno de solución nutritiva con una lámina de icopor, en la cual se depositan las plántulas (previamente lavadas y puestas en la canastilla). Esta técnica comúnmente se conoce como sistema de cultivo de raíz flotante.

Se construyeron 4 contenedores (Figura 10) de dimensiones de 1.02 m de largo, 1.02 m de ancho y 10 cm de alto generando un volumen de 104 L. Los contenedores fueron llenados con agua hasta completar el volumen y se le agregó el tratamiento total según la tabla 2, en este caso por 104 litros de agua se aplicaron 520 ml de la solución concentrada A y 260 ml de la solución concentrada B. Cada contenedor tenía 137 plantas soportadas por una lámina de icopor que tenía un área de 1 m² y un espesor de 2.5 cm, Las perforaciones en la lámina de icopor se realizaron cada 9 cm de centro a centro con una distribución triangular para optimizar el espacio.



Figura 10 Contenedor o Piscina

Después de llenar todos los hoyos de la lámina se levantó para verificar que ninguna raíz haya quedado aprisionada entre la lámina y las canastas. Siguiendo este protocolo se confirmó que todas las plántulas quedaran derechas y sumergidas en la solución nutritiva. (Figura 11)



Figura 11 Raíces de las plantas en contenedores

En los contenedores se requiere la oxigenación de la solución de nutrientes para evitar la muerte de las plántulas, esta actividad se realizó con bombas de aire de 3 watts de potencia las 24 horas del día, también se debe realizar la mezcla de la solución dos veces al día para evitar la precipitación de las sales disueltas.

La solución de nutrientes va variando respecto al tiempo debido a la adsorción de sales por parte de la planta y a la evapotranspiración que se desarrolla en el cultivo. Para un buen manejo de los contenedores el volumen de la solución deberá conservarse relativamente constante para poder asegurar un adecuado crecimiento de las plantas, medir la CE y el pH de la solución son importantes para mantener los niveles en los índices recomendados y no generar estrés o exceso de nutrientes.

Esta etapa comúnmente conocida como post-almácigo, se realizó con el fin de que las plantas permanecieran durante tres semanas, para que se adapten al sistema hidropónico y se presente un mejor desarrollo radicular al ser llevadas al sistema NFT.

6.6.4 Segundo Trasplante

Pasada la etapa de post – almácigo, las plántulas fueron trasladadas al sistema de flujo laminar de nutrientes (NFT). En este sistema las plantas se encuentran en tubos de polivinilo de cloruro (PVC) de tres pulgadas por las que pasa una corriente laminar de la solución de nutrientes (Figura 12).



Figura 12 Cultivo Hidropónico NFT

La solución de nutrientes usada para el sistema NFT se calculó según las recomendaciones de la FAO (Tabla 2). Para el sistema se tiene un tanque de almacenamiento con diámetro de 50 cm y una altura de 70 cm proporcionando un volumen de 137 Litros, volumen compuesto por agua, 685 ml de la solución concentrada A y 342.5 ml de la solución concentrada B

En el sistema hidropónico NFT es recomendable mantener los niveles de la solución nutritiva, esto se realiza completando los niveles de agua perdidos por evapotranspiración, y manteniendo los niveles de CE como al inicio de la solución y el pH entre el rango de 5.5 y 7.

El sistema NFT asegura la recirculación de la solución de nutrientes mediante una electrobomba, en intervalos de 15 minutos cada hora. Los intervalos fueron controlados mediante un cronometro de tiempo de 24 horas que enciende o apaga la bomba según su programación.

6.7 Componentes del sistema NFT

- Soportes: Se construyeron 2 soportes con tubos metálicos cuadrados de $\frac{3}{4}$ de pulgada. El primer soporte constaba de 12 tubos para una cama de 240 cm de ancho y 50 cm de alto, el segundo de 14 tubos formando una cama de 280 cm de ancho y 50 cm de alto.
- Canales que soportan las plantas: tubería de 3 pulgadas de diámetro y 6 metros de largo por las cuales fluía una lámina de solución de nutrientes para mantener hidratadas las plantas. Estos canales con perforaciones cada 20 cm para la disposición de las plantas y con una distancia igual entre laterales.
- Canales de Drenaje: Tubería de 2 pulgadas de diámetro dispuesta al final de cada cama que permite el flujo de la solución de nutrientes por gravedad hasta llegar al tanque de almacenamiento.
- Tanque de almacenamiento: Recipiente plástico con capacidad de 160 litros, en el cual se almacenó la solución que recirculaba por el sistema.
- Tubería de distribución y de conducción: Tubería de 1 pulgada conectada a la bomba y a la distribución de los canales.
- Red de distribución: tubería de 1 pulgada de diámetro, la cual fue perforada cada 20 centímetros para que aporte el caudal necesario a cada canal con las plantas.
- Electro Bomba: Es la encargada de impulsar la solución nutritiva desde el tanque de almacenamiento hasta la tubería de distribución.
- Cronometro de tiempo (Timer): Equipo encargado de encender o apagar la bomba según su programación.

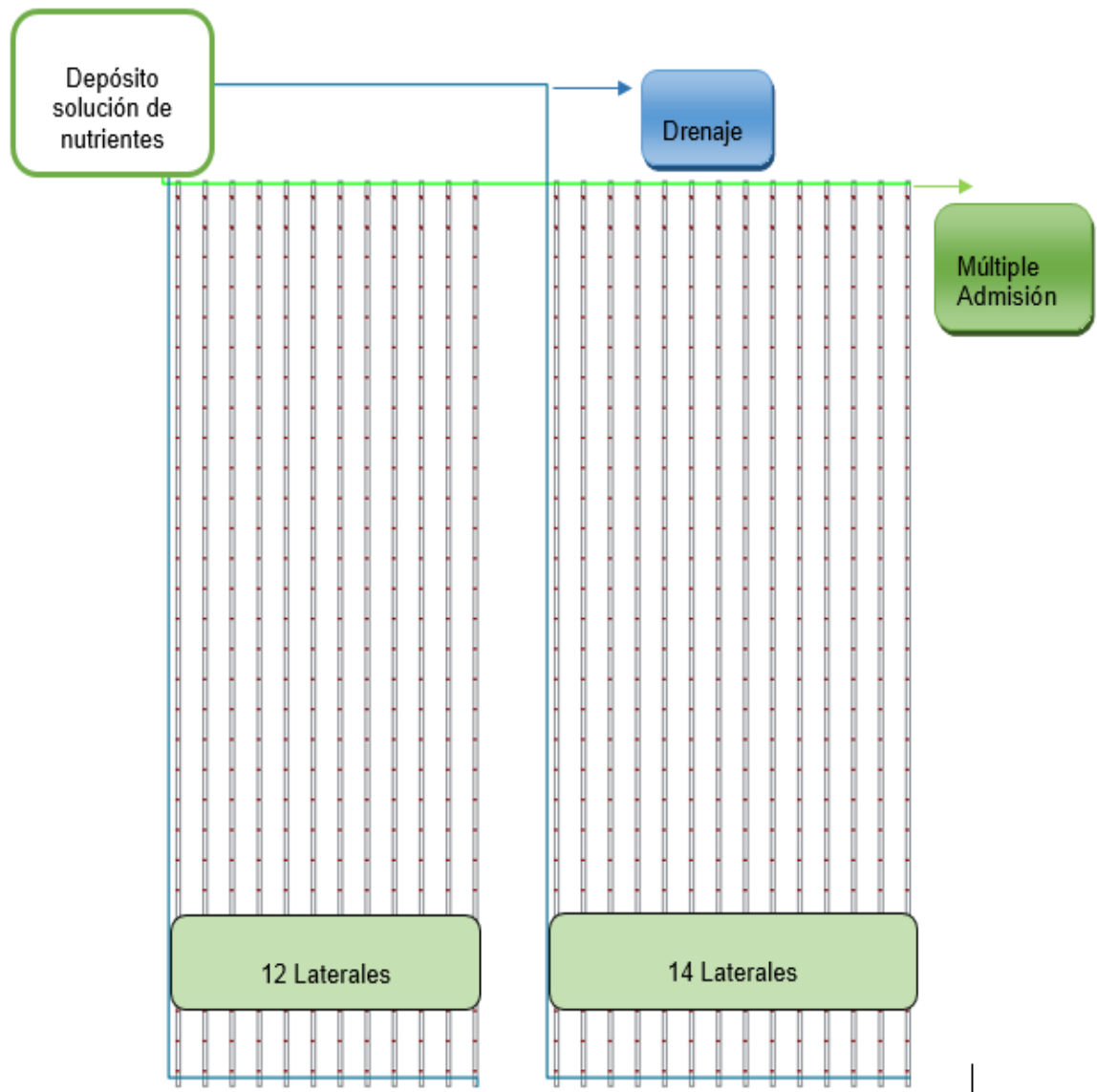


Figura 13 Sistema NFT del proyecto.

6.8 Costos del proyecto

Para la realización del proyecto se hizo una inversión de \$4.638.293 pesos m/cte., en los que se cuenta los gastos por funcionamiento y de inversión los cuales se describen en la tabla 3.

Tabla 3 Presupuesto proyecto

Presupuesto				
Descripción	cantidad	unidades	Valor Unitario	Valor Total
Semilleros				
Semillas	3	paquete	2,000	6,000
Turba	3	kilos	4,000	12,000
Bandeja Semilleros	5		5,000	25,000
Invernadero				
Madera estructura (bastidores)	55	unidad	3,300	181,500
Barniz	1	galón	36,000	36,000
Sellador	1	galón	40,000	40,000
Tiner (disolvente)	3	galón	12,000	36,000
Brochas	2	unidad	3,500	7,000
Tornillos Autoroscantes (madera)	600	unidad	50	30,000
Plástico y Malla antitrips	30	metro	13,000	390,000
Grapas	1	caja	11,000	11,000
Camas				
Tablas de pino	30	unidad	800	24,000
Plástico negro	6	metro	4,000	24,000
Láminas de Icopor	4	unidad	5,000	20,000
Espuma	2	laminas	3,000	6,000
Copas desechables	15	paquetes	1,200	18,000
Solución de fertilizantes				57,300
Fertigreen	1	litro	20,000	20,000
Irricol	2	kg	18,650	37,300
Herramientas				165,200
Taladro	1	unidad	90,000	90,000
Grapadora	1	unidad	30,000	30,000
Martillo	1	unidad	8,700	8,700

Tabla 4 Presupuesto proyecto (continuación)

Presupuesto				
Descripción	cantidad	unidades	Valor Unitario	Valor Total
Herramientas				
Copas para Taladro	1	juego	12,000	12,000
Punta estría para taladro	1	unidad	1,000	1,000
Escuadra, marcador, cinta y otros	1	unidad	12,000	12,000
Brocas	1	unidad	3,500	3,500
metro	1	unidad	8,000	8,000
Equipos				
Computador	1	unidad	1,000,000	1,000,000
Medidor de pH y CE	1	unidad	800,000	800,000
Balanza	1	unidad	38,000	38,000
Electro Bomba	1	unidad	180,000	180,000
Temporizador	2	unidades	15,000	30,000
Sistema NFT				
Tubería PVC de 3 pulgadas	26	unidad	20,192	524,992
Tubería PVC de 2 pulgadas	3	unidad	13,667	41,001
Tubería PVC de 1 pulgada	1	unidad	10,000	10,000
Tubería PVC de 1/2 pulgada	1	unidad	5,000	5,000
Tapas de prueba de 3 pulgadas	52	unidad	800	41,600
Tapas de prueba de 2 pulgadas	3	unidad	600	1,800
Tanque de almacenamiento 150 Litros	1	unidad	35,000	35,000
Pegante PVC, limpiador	1	1/4 galón	34,000	34,000
Tubería de acero cuadrada 3/4 pulgada	17	unidad	7,500	127,500
Tornillos rosca fina	50	unidad	204	10,200
Alambre Galvanizado	1	Kilo	5,200	5,200

Tabla 4 Presupuesto proyecto (continuación)

Presupuesto				
Descripción	cantidad	unidades	Valor Unitario	Valor Total
Mano obra				
Diseño Hidráulico	1		200,000	200,000
Invernadero, camas	15	día	25,000	375,000
soportes	1	contrato	90,000	90,000
Total Inversión			\$ 4.638.293	

La financiación del 100% del proyecto se llevó a cabo con recursos propios.

7 RESULTADOS

En el proyecto se realizó la construcción de un invernadero cuya estructura requirió de contenedores y soportes. La protección del cultivo se llevó a cabo con malla antitrips, recomendada para evitar ataques de diversas plagas en los cultivos.

Durante el desarrollo del proyecto se diseñó el sistema hidráulico para la técnica hidropónica de flujo laminar de nutrientes, contruidos según la forma y el área disponible para el proyecto.

Se sembraron 780 semillas de dos especies vegetales que fueron lechuga y repollo sometidas a la misma solución de nutrientes, protección del cultivo (invernadero), temperatura y humedad. Estas fueron sembradas de manera aleatoria en bandejas de polipropileno con turba.

Pasados 4 días, las semillas de lechuga y repollo empezaron a germinar formando una población de 780 plantas compuesta el 50% de cada una de las especies vegetales.

Durante el desarrollo del cultivo se presentaron ataques por plagas tales como el gusano cogollero (Figura 14) el cual es la larva de la palomilla nocturna (S.A & Bayer Mexico, s.f.) *spodoptera frugiperda*, que atacó principalmente las plantas de repollo ocasionando daño en las hojas. Para el control de esta plaga se realizó una minuciosa búsqueda por todas las especies vegetales cultivadas luego se retiraron y descartaron las afectadas por la plaga, después de este procedimiento no se presentaron nuevos ataques.

Otra plaga presente en el cultivo fue la mosca blanca (*Aleyrodidae*), quienes succionan la savia de la planta por adultos y larvas, provocando debilitamiento de la planta e incluso con poblaciones numerosas marchitamiento de las hojas. Cuando la mosca se alimenta, la savia que no aprovecha sale en forma de melaza que sirve de soporte a la "negrilla" en hojas y frutos. La capa formada reduce la fotosíntesis y la respiración produciendo debilitamiento de la planta (Figura 14).



Figura 14 Plagas

7.1 Procedimiento obtención de datos

Para obtener los datos, las muestras deben sacarse de los tubos de PVC del sistema NFT, luego despojarlas de la espuma y canastilla las cuales le brindaron soporte a las plantas durante el desarrollo del cultivo, al quitar los materiales de soporte de las plantas se debe tener cuidado para no desprender la raíz de la planta.

Se recogió una muestra significativa de 15 plantas de cada especie vegetal para obtener los datos, cada planta fue pesada con una balanza digital con capacidad máxima de 5 kilogramos y precisión de $\pm 0.001g$, la longitud de la raíz se midió con una cinta métrica de 3 metros de longitud y el conteo de las hojas se realizó de forma manual.

7.1.1 Resultados del cultivo de repollo

Se tomó una muestra representativa de 15 plantas de repollo a las cuales se les midió la longitud de la raíz, el número de hojas y el peso, el procedimiento se registra en la figura 15.



Figura 15 Procedimiento de obtención de datos del repollo

Se registró un comportamiento poco uniforme con las muestras analizadas, con respecto al peso de la muestra se encontró que no había un buen desarrollo de las plantas en general ya que este cultivo tiene un periodo vegetativo de 90 días después de germinadas las plantas. Los datos fueron analizados 78 días después de la siembra a los que se les realizó el análisis de los datos, los cuales no presentaba aun la formación de la cabeza que es un gran indicador de que las plantas no presentaron el desarrollo adecuado durante este proceso.

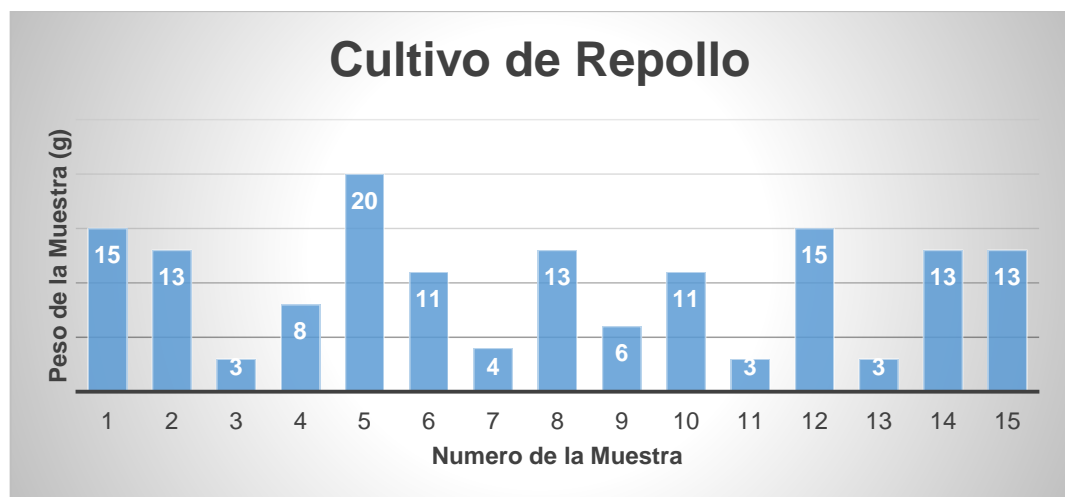


Figura 16 Gráfica peso de la muestra del repollo

En el análisis de la longitud de la raíz se observó un desarrollo equivalente al tamaño de la planta, lo cual indica que al presentarse problemas con el crecimiento de la planta se relaciona que la densidad de la raíz en esta etapa debería ser mayor.

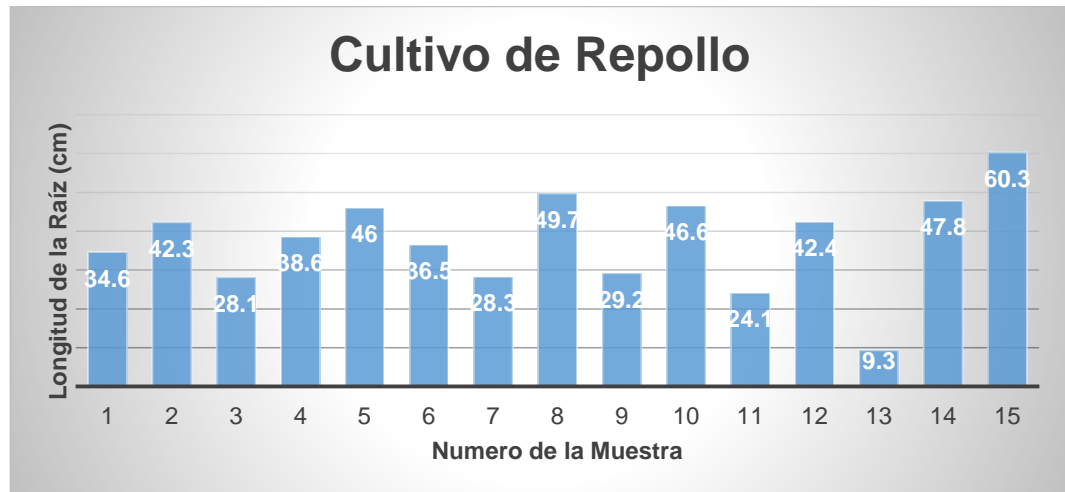


Figura 17 Gráfica de la longitud de la raíz del Repollo

La variación en el número de hojas tuvo un buen comportamiento ya que en este no se encuentran variaciones muy significativas. Las diferencias en las hojas se vieron reflejadas en el tamaño lo que plantea una relación directamente proporcional con el peso las plantas, puesto que a mayor peso de la planta se obtuvo un tamaño de hojas más grande.

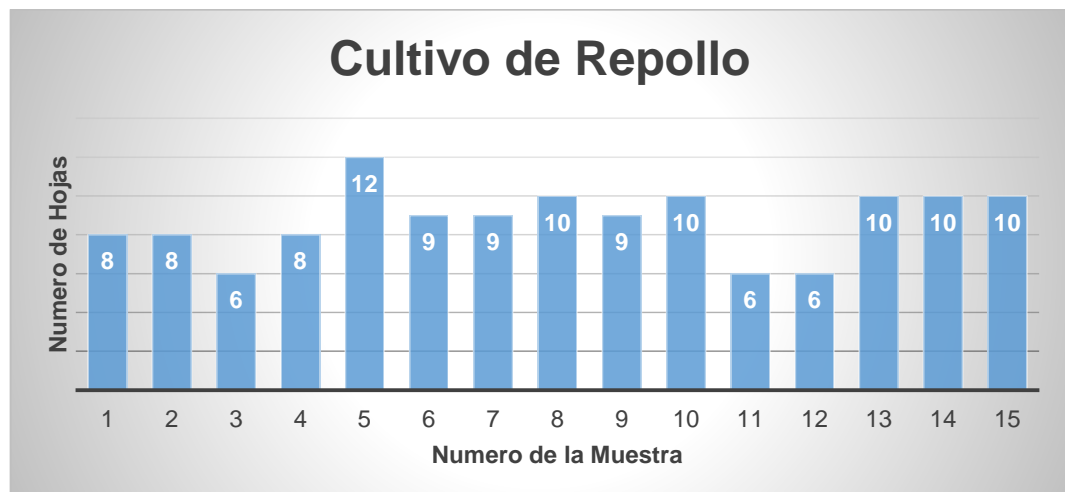


Figura 18 Grafica del número de hojas del repollo

7.1.2 Resultados del cultivo lechuga

Para el cultivo de lechuga se tomaron 15 muestras representativas de la población total, quienes fueron pesadas, medidas y posteriormente se le realizó el conteo manual de hojas el procedimiento se registró en la (Figura 19).



Figura 19 Procedimiento de obtención de datos del cultivo de lechuga

El cultivo de lechuga tiene un ciclo vegetativo de 45 días después del primer trasplante, debido a las variaciones y a la presencia de flores, dicho cultivo no fue apto para el consumo y la comercialización. Se obtuvo como resultado pesos heterogéneos.



Figura 20 Peso de la muestra de Lechuga.

El desarrollo de la raíz en las muestras analizadas, tuvo un comportamiento poco equivalente al desarrollo de las plantas ya que en algunos casos la raíz de la planta era más grande que la parte aérea de esta, es decir que se obtuvo un mayor desarrollo radicular de la planta que en las hojas y tallo que es lo realmente importante a la hora de comercializar el producto.

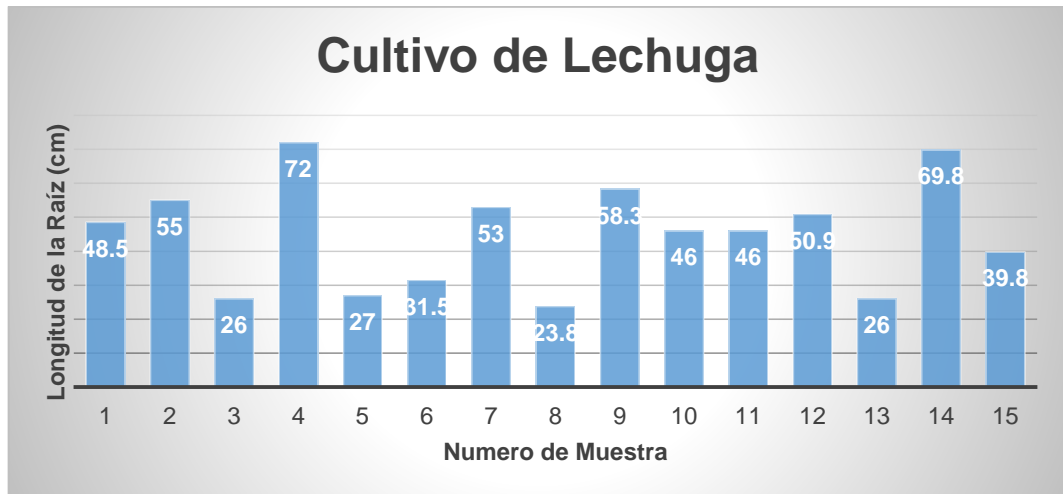


Figura 21 Longitud de la Raíz de la Lechuga

El número de hojas tuvo muchas variaciones, ya que el desarrollo de este cultivo fue heterogéneo, el tamaño de las hojas no vario mucho entre las plantas.



Figura 22 Número de Hojas del Cultivo de Lechuga

7.2 Proyección

Teniendo en cuenta que este proyecto surge con la necesidad de suplir una demanda constante y existente en dicho municipio, el uso de las instalaciones será constante hasta encontrar el punto de equilibrio entre el producto y la comercialización.

Se han encontrado estudios en el cual se dan valores que sirven de referencia para realizar una proyección económica de acuerdo a la capacidad de producción del sistema hidropónico NFT, los datos se encuentran en la tabla 5 (FAO, La Huerta Hidropónica Popular, 2003).

El trabajo y la inversión realizada podrán generar una producción mensual continua de 97.500 gramos de lechuga y 390.000 gramos de repollo; teniendo en cuenta la capacidad del sistema NFT. En el desarrollo del proyecto se mostraron tres etapas para el crecimiento del cultivo lo cual indica que se tendrá una producción de vegetales al menos cada 15 días, es decir de manera cíclica.

Tabla 5 Producción de Vegetales con Hidroponía

Rendimiento en Hidroponía						
Especie	Distancia		Número de plantas	Peso		Cosechas al año
	entre surcos	entre plantas		Población	Unidad	
	cm	cm	m2	Kg/m2	g	m2
Lechuga	17	17	28	3.5	125	10
Repollo	30	25	11	5.5	500	3

En el mercado actual se comercializa 500 gramos de lechuga por 900 pesos, lo que genera un ingreso mensual de 175.500.

El repollo tiene un costo comercial de 500 pesos la libra, Dando como resultado 390.000 pesos de ingreso mensual.

Siendo una ventaja la inversión inicial que tendrá una duración de 5 años, se esperan ingresos de 8'000.000 pesos anuales, solo para los cultivos vegetales empleados para este proyecto, estos ingresos pueden variar teniendo en cuenta la demanda del mercado, o entrando a competir en mercados verdes o de origen orgánico.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Diversos factores inciden en el crecimiento y desarrollo óptimo de los cultivos hidropónicos: el microclima del invernadero y el manejo de la solución de nutrientes.
- En el sistema NFT la circulación de la solución de nutrientes se puede hacer en intervalos cortos de tiempo provocando un ahorro en el consumo de energía.
- El sistema NFT permite el reúso de la solución de nutrientes, viéndose beneficiado el productor debido al bajo consumo de agua y ayudando al ambiente a dar un buen uso de un recurso no renovable.
- Es necesario mantener un control preciso de la solución nutritiva en lo relacionado con la conductividad eléctrica y el pH.
- En los sistemas hidropónicos de pequeña escala es posible realizar un control manual de las plagas
- La malla usada para el invernadero presenta ventajas facilitando el control de plagas en el cultivo y disminuyendo el uso de plaguicidas.

8.2 Recomendaciones

- Los espacios para aplicar las diferentes técnicas hidropónicas deben recibir como mínimo 6 horas de luz solar al día y estar protegidas para evitar daños por animales domésticos y personas irresponsables.
- El uso de almacenadores de energía eléctrica para evitar pérdidas totales de los cultivos, cuando se presentan fallas en el servicio.
- Las soluciones de nutrientes deben protegerse de la luz solar tanto en el sistema como en los tanques de almacenamiento para evitar la producción de algas.
- Realizar el control de pH y conductividad eléctrica al menos una vez al día, para mantener los niveles adecuados en la solución de nutrientes para el desarrollo óptimo del cultivo.

9 BIBLIOGRAFÍA

(IGAC), I. G. (s.f.). Obtenido de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pbot_diagnostico_florida_\(419_pag_1050_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pbot_diagnostico_florida_(419_pag_1050_kb).pdf)

Alimentación Sana. (s.f.). <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/alimentoscuran/col.htm>. Recuperado el Enero de 2012

Asociación Hidropónica Mexicana A.C. (s.f.). <http://hidroponia.org.mx/wp/cultivo-hidroponico/historia/>. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://hidroponia.org.mx/wp/cultivo-hidroponico/historia/>.

Backes, F. A. (2007). Hydroponic Growing of lisianthus flower for cutting in nutrient llaminar flow system. *Pesq. agropec bras (online)*, vol. 42, pag.11.

Barbado, J. L. (2005). Hidroponía 1a ed. Buenos Aires- Argentina: Albatros.

Carvajal, F. (s.f.). http://www.fundacioncarvajal.org.co/sitio/index.php?option=com_k2&view=item&id=33:seguridad-alimentaria-resa&Itemid=11&lang=es.

Castillo, E. (1996). Hombres y Agricultura. Panamá.

Conn, S. J. (2013). Protocol: optimising hydroponic growth for nutritional and physiological analysis of arabidopsis thaliana and other plants. *Plant Methods* 9, 1-11.

FAO. (2003). *Capacitación Hidroponia Simplificada*. Juan Izquierdo.

FAO. (2003). *La Huerta Hidroponica Popular*.

FAO. (s.f.). *Ciudades Más Verdes en América Latina y el Caribe*.

FAO. (s.f.). Obtenido de <http://www.fao.org/urban-agriculture/es/>

Florida, A. (2012). *Diagnostico Socio-Economico del Municipio de Florida Valle 2012*. Florida.

Fresh Plaza. (Noviembre de 2013). *Industria Alimenticia*. Obtenido de Industria Alimenticia.

Garlet e Santos, T. O. (2008). Solucion nutriiva y composicion mineral de tres especies de menta cultivadas en sistema hidropónico. *Cienc. Rural (online)*, Vol 38, pag 5.

Gavilán, M. U. (2004). *Cultivo sin suelo*. España: Mundi - Prensa.

Google. (s.f.). *Google maps*. Obtenido de Google maps: <https://www.google.es/maps/place/Florida,+Valle+del+Cauca,+Colombia/@3.3002,-76.193715,12z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x8e3a12c93d781f4b:0xd4c76c51099586cb>

Hidroponía y Cultivos Hidropónicos. (2009). <http://cultivohidroponia.blogspot.com/2009/12/historia-de-la-hidroponia.html>. Recuperado el Enero de 2012, de <http://cultivohidroponia.blogspot.com/2009/12/historia-de-la-hidroponia.html>.

<http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/>. (s.f.).

Hydroenvironment. (s.f.). *Hydroenvironment*. Obtenido de http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=35&chapter=2

Infoagro. (s.f.). <http://www.infoagro.com/hortalizas/lechuga.htm>. Recuperado el Enero de 2012

Irizarri Otaño, E. (s.f.). *Hidroponía*. Puerto Rico: Colegio de Ciencias Agrícolas.

Jaramillo N., J., & Díaz D., C. (2006). *El Cultivo de la Crucíferas*. Rionegro, Antioquia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA.

Lema, S. G. (27 de junio de 2014). *Mundo Agropecuario*. Obtenido de Mundo Agropecuario: <http://mundoagropecuario.com/category/noticias/america/sur-america/colombia/>

Malga, O. (2001). Lechugas Hidroponicas. *Seminario de Agro Negcios*.

Malga, O. (2001). Lechugas Hidroponicas. *Seminario de Agro Negcios*.

Marulanda, C. (2003). *La Huerta Hidropónica Popular*. Santiago, Chile: FAO.

Pizarro, F. (1990). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia*. Madrid: Mundi - Prensa.

Resh, H. M. (2006). *Cultivos Hidropónicos*. Ediciones Mundi-Prensa .

S.A, B. M., & Bayer Mexico, S. (s.f.). *Bayer Cropscience México*. Obtenido de Bayer Cropscience México: http://www.bayercropscience.com.mx/bayer/cropscience/bcsmexico.nsf/id/gcogolleropests_bcs

Vásques Vásques, L. (Enero de 2008). Maestría en conservacion y aprovechamiento de recursos naturales. Santa Cruz., Xoxocutlán, Oaxaca.

10 ANEXOS

Anexo 1. Potencial Hídrico de distintos cultivos

En la tabla 1, confeccionada a partir de datos de Taylor (1965) Hagan y Stewart (1972), Salter y Goode (1967) y otros, se muestran, para varios cultivos.

Los valores de potencial hídrico de suelo que no se debe superar para que no se produzca una disminución inaceptable de la transpiración y en consecuencia de los rendimientos. Estos valores por tanto se pueden considerar como los potenciales hídricos óptimos de riego para los distintos cultivos.

Tabla 6 Potencial Hídrico de cultivos (Pizarro, 1990)

Cultivo	Kc	Cultivo	Kc
Aguacate	0.50	Lechuga	0.4 – 0.6
Alfalfa	0.8 – 1.5 (i)	Limón	0.4
Algodón	1.0 – 3.0	Maíz	0.5 – 1.5 (i)
Apio	0.2 – 0.3	Melón	0.35 – 0.4
Arroz	Saturación	Naranjos	0.2 – 1.0
Banana	0.3 – 1.5 (i)	Patatas	0.3 – 0.5
Caña de azúcar	0.8 – 1.5 (i)	Pepino	1.0 – 3.0
Cártamo	1.0 – 2.0 (i)	Remolacha Azucarera	0.6 – 0.8
Cebolla verde	0.45 – 0.65	Soja	0.5 – 1.5
Cebolla seca	0.55 – 0.65	Sorgo	0.6 – 1.3 (i)
Cultivo	Kc	Cultivo	Kc
Cereales secundarios	0.4 – 1.0 (i)	Tabaco temprano	0.3 – 0.8
Col	0.6 – 0.7	Tabaco tardío	0.8 – 2.5
Flores y plantas de adorno	0.1 – 0.5	Trébol	0.3 – 0.6
Fresas	0.2 – 0.3	Trigo	0.8 – 1.5
Frutas caedizas	0.5 – 0.8	Trigo (maduración)	3.0 – 4.0
Gramíneas	0.4 – 1.0	Vid	0.4 – 1.0
Guisantes	0.3 – 0.8	Zanahoria	0.55 – 0.65
Judía	0.6 – 1.0		

Anexo 2. Coeficientes de Christiansen

Tabla 7 Coeficiente de Christiansen

n	$l_0 = 1$					n	$l_0 = 1/2$				
	$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$		$\beta=1,75$	$\beta=1,80$	$\beta=1,85$	$\beta=1,90$	$\beta=2,00$
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	0,650	0,644	0,639	0,634	0,625	2	0,532	0,525	0,518	0,512	0,500
3	0,546	0,540	0,535	0,528	0,518	3	0,455	0,448	0,441	0,434	0,422
4	0,497	0,491	0,486	0,480	0,469	4	0,426	0,419	0,412	0,405	0,393
5	0,469	0,463	0,457	0,451	0,440	5	0,410	0,403	0,397	0,390	0,378
6	0,451	0,445	0,435	0,433	0,421	6	0,401	0,394	0,387	0,381	0,369
7	0,438	0,432	0,425	0,419	0,408	7	0,395	0,388	0,381	0,375	0,363
8	0,428	0,422	0,415	0,410	0,398	8	0,390	0,383	0,377	0,370	0,358
9	0,421	0,414	0,409	0,402	0,391	9	0,387	0,380	0,374	0,367	0,355
10	0,415	0,409	0,402	0,396	0,385	10	0,384	0,378	0,371	0,365	0,353
11	0,410	0,404	0,397	0,392	0,380	11	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351
12	0,406	0,400	0,394	0,388	0,376	12	0,380	0,374	0,367	0,361	0,349
13	0,403	0,396	0,391	0,384	0,373	13	0,379	0,372	0,366	0,360	0,348
14	0,400	0,394	0,387	0,381	0,370	14	0,378	0,371	0,365	0,358	0,347
15	0,397	0,391	0,384	0,379	0,367	15	0,377	0,370	0,364	0,357	0,346
16	0,395	0,389	0,382	0,377	0,365	16	0,376	0,369	0,363	0,357	0,345
17	0,393	0,387	0,380	0,375	0,363	17	0,375	0,368	0,362	0,356	0,344
18	0,392	0,385	0,379	0,373	0,361	18	0,374	0,368	0,361	0,355	0,343
19	0,390	0,384	0,377	0,372	0,360	19	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343
20	0,389	0,382	0,376	0,370	0,359	20	0,373	0,367	0,360	0,354	0,342
22	0,387	0,380	0,374	0,368	0,357	22	0,372	0,366	0,359	0,353	0,341
24	0,385	0,378	0,372	0,365	0,355	24	0,372	0,365	0,359	0,352	0,341
26	0,383	0,376	0,370	0,364	0,353	26	0,371	0,364	0,358	0,351	0,340
28	0,382	0,375	0,369	0,363	0,351	28	0,370	0,364	0,357	0,351	0,340
30	0,380	0,374	0,368	0,362	0,350	30	0,370	0,363	0,357	0,350	0,339
35	0,378	0,371	0,356	0,359	0,347	35	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338
40	0,376	0,370	0,364	0,357	0,345	40	0,368	0,362	0,355	0,349	0,349
50	0,374	0,367	0,361	0,355	0,343	50	0,367	0,361	0,354	0,348	0,337
60	0,372	0,366	0,359	0,353	0,342	100	0,365	0,359	0,353	0,347	0,335
80	0,370	0,363	0,357	0,351	0,340	200	0,365	0,358	0,352	0,346	0,334
100	0,369	0,362	0,356	0,350	0,338	-	-	-	-	-	-
150	0,367	0,360	0,354	0,348	0,337	-	-	-	-	-	-
300	0,365	0,359	0,353	0,346	0,335	-	-	-	-	-	-
>300	0,364	0,357	0,351	0,345	0,333	-	-	-	-	-	-
n = Número de salidas											
$\beta=1,75$ Blasius, Cruciani-Marganitora						En la práctica se toma los siguientes valores de β :					
$\beta=1,786$ Scimemi						$\beta=1,75$ para tuberías de PE					
$\beta=1,80$ Iso, Veronese-Daite						$\beta=1,80$ para tubería de PVC					
$\beta=1,85$ Hazen-Williams						$\beta=1,85-1,90$ para tubería de aluminio					
$\beta=1,90$ Scobey											
$\beta=2,00$ Manning, Darcy-Weisbach											

Anexo 3: Tabla de resultados Cultivo de Repollo

Tabla 8 Resultados Repollo

Cultivo de Repollo			
N. muestra	Peso (g)	Longitud Raíz	Numero hojas
R1	15	34.6	8
R2	13	42.3	8
R3	3	28.1	6
R4	8	38.6	8
R5	20	46	12
R6	11	36.5	9
R7	4	28.3	9
R8	13	49.7	10
R9	6	29.2	9
R10	11	46.6	10
R11	3	24.1	6
R12	15	42.4	6
R13	3	9.3	10
R14	13	47.8	10
R15	13	60.3	10

Anexo 4: Tabla de resultados Cultivo de Lechuga

Tabla 9 Resultados Lechuga

Cultivo de Lechuga			
N. muestra	Peso (g)	Longitud Raíz	Numero hojas
L1	3	48.5	6
L2	0.01	55	3
L3	9	26	8
L4	11	72	10
L5	10	27	9
L6	11	31.5	9
L7	4	53	6
L8	4	23.8	7
L9	7	58.3	10
L10	14	46	9
L11	14	46	9
L12	4	50.9	5
L13	3	26	6
L14	7	69.8	8
L15	10	39.8	9